因應農藥減量政策之雜草管理技術

蔣永正[1]

[1] 農業藥物毒物試驗所農藥應用組。台中市霧峰區。臺灣。

摘　　要

臺灣目前普遍使用除草劑防治雜草，由於化學藥劑的過度使用，造成對人體健康和環境品質的負面影響。因此，需要重新發展符合經濟及環境友善之雜草永續管理技術。將預防、栽培、生物、機械及化學防治等不同方法予以整合利用，除降低雜草的發生，同時也可減少除草劑的使用。雜草整合管理的第一步即草相調查，以確立田間主要雜草種類，依據田間監測結果選擇正確的雜草防治方法。其次要決定除草之關鍵期，把握除草時機不僅降低雜草對作物生育的不利影響，同時也可減少除草劑的用量。雜草合理化管理實際應著重在以監測及危害限界作為防治實施之依據，此外推動雜草管理而非根除的觀念，實為除草劑減量使用政策落實的關鍵性決定因子。

關鍵詞：雜草、競爭、除草劑、雜草整合管理

緒　　言

雜草的發生無所不在，不論是農地或我們生活的環境中處處可見，因為它們大都是這塊土地的原住民，藉由土壤中的種子庫 (soil seed bank) 維繫其世代的生生不息。一般對雜草的簡單定義為「在特定的時間和地點，其經濟用途尚未被發現的植物」，此外出現在不被期望發生的地方，如蔬菜田內長出的自生稻亦被視為雜草。目前在地球上 30 萬種被子植物中，約有 10%的植物如香附子 (*Cyperus rotundus*)、布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*) 等，在大多數情況下，長期被認為是具有危害潛力且不易控制的雜草(10)。但是也有許多原為無用的雜草，被開發利用為蔬菜、藥草、牧草、地被植物及環境監測之指標植物等。從植物分布的習性不難理解，在臺灣的多變地形及氣候下，複雜而多樣的生態環境中，雜草的發生不僅

種類多且分布普遍，對農作生產及環境利用均造成明顯的衝擊。基於經濟及衛生的考量，雜草管理確有其必要性。但傳統的管理觀念和技術著重於根除，即建構在高經濟效益的目標之下，尤其在多年生難防治雜草與外來植物密集發生的環境中，除草劑成為清除田園雜草普遍採用的方式。除草劑的頻繁使用，對農業生態系的干擾及林地的破壞，均可能造成極大的隱憂。因此要落實除草劑的減少使用，首先須針對雜草在生態系中的角色及管理的目的與水準，進行維護生產與環境兩者間之效益評估，同時整合物理、栽培等其他防治技術的利用時機與方式，作為有限管理資源能夠適當配置的依據，以期達到農業永續經營的目標。

雜草對作物及農業環境的影響

農田雜草對栽培作物的影響，包括競爭性與非競爭性的負面危害，及改善土壤質地與提高作物對養分吸收的正面作用。研究顯示，雜草引起作物減產的競爭性危害超過 10%以上[7,8]；非競爭性危害包括分泌剋他物質 (allelopathic chemicals)、提供菌、蟲食源與棲所、干擾田間作業及採收後處理、導致人畜中毒及影響景觀等[7,8]，後者危害的層面很廣，造成的影響雖大，卻不易具體估計。

(一) 負面危害

1. 競爭性危害

雜草在農作環境中，會與作物競爭光照、養分、水分、空間等資源，直接危害到作物的生育；如水田中稗草 (*Echinochloa crus-galli*)，在分蘗中期株高即超過水稻，影響稻株對光的吸收強度，降低穀粒數及稔實率。野茨菰 (*Sagittaria trifolia*)、螢藺 (*Schoenoplectus juncoides*) 及球花蒿草 (*Cyperus difformis*) 等株形較矮之水田雜草，也會減少稻株中下層葉片之受光量[10]。養分的競爭對作物生育的影響尤其明顯，特別是作物對氮肥的吸收效率降低，導致作物生育不良的黃化現象。競爭所導致之作物減產程度，會因雜草的種類、生物量、發生時期、作物的品種及氣候環境等條件而有差異，田間實際發生之減產程度在 10-90%之變化範圍[10]。

2. 非競爭性危害

雜草同時也會成為病蟲原的寄主及老鼠等害物棲息的場所，造成田區管理上的困擾，某些雜草殘質甚至會釋出酚類等二次代謝產物，發生所謂的相剋作用，引起作物品質的低下及產量的損失。除了以上對農業生產有明顯影響外，雜草也會降低人類生活環境的品質，與自然資源的利用率，如水域中布袋蓮堵塞河道，不

但阻礙水流有形成水患之慮，且易滋生蚊蠅影響環境衛生。豬草 (*Ambrosia artemisiifolia*)、銀膠菊 (*Parthenium hysterophorus*) 等有毒植物，則會引起過敏危及健康[10]。此外小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*) 的大面積蔓延，侵害原生植被、覆蓋山林及果園，造成的生態入侵對物種多樣性的影響更是深遠。

(二) 生態與保育功能

農地雜草也是多種昆蟲、微生物及野生動物覓食、棲息及繁衍的場所，地被植物對保育水土及改善土質具重要的生態功能，也適合用為環境改變之指標植物。

1. 增加土壤抗蝕及涵養水分能力

雜草具有減低狂風大雨所造成之土壤沖蝕力，增加土壤之滲水性，在土壤中形成不透水層，維護土壤生態。臺灣雨量集中在夏季，山區雨勢大，坡地土壤流失嚴重，坡地敷蓋之地被植物，可減少表土流失，配合割草覆蓋，增加土壤有機物，促進團粒結構及改善通氣性，提高地力。草類也有助於減少地面水分之蒸發，縮短雨水浸泡土壤之時間，可能和其自身蒸散作用之調節，增加根吸水量有關。

2. 改善作物養分的吸收及利用

草類可截留土壤流失之養分，密布之根系吸取土壤中多量的有效性氮，減少氮化物之淋洗，降低地下水之污染。雜草死亡腐化後所含之養分亦將釋出，同時將向下淋洗之養分重回土表，增加肥料利用率。

3. 改善土壤質地

雜草覆蓋具有調節土壤溫度的作用，同時草類根系腐爛後會增加土壤有機質。土壤有機質可活化土壤微生物，提供所需之營養來源；減低土壤內聚性、塑性及粘著性，使土壤便於耕犁；促進及穩定土壤粒團，保持良好之通氣及透水性，適於植物生長。

4. 提供天敵生存之有利環境

有關蟲害綜合管理之相關資料顯示，農作環境之雜草可提升天敵對蚜蟲、介殼蟲、飛蝨等多種害蟲之防治效果[10]。作物田周邊之野生植物，也可影響害蟲之族群特性，降低田間抗蟲作物及藥劑施用對昆蟲之選拔壓力，而延緩適應性昆蟲抗性小種之衍生。

臺灣每年直接或間接投入雜草防除之花費高達數百億，如何利用雜草對作物及環境的正面效應，擬定適當之整合管理策略，有效管理及控制雜草的蔓延，降低危害發生的程度，確為植物保護範圍內須要加強研究的課題。

生雜草發生特別嚴重，對作物的生長和養分吸收有明顯影響，不僅競爭水分、養分、陽光，同時也是某些病、蟲源越冬的中間寄主。雜草形成的生物量，則與園區內土壤質地、土壤濕度、通風、光照等有關。地勢較高、土壤貧瘠的園區，以禾本科、莎草科草發生較多；地勢較低，土壤濕度較大，遮蔭強之農地，闊葉草的發生量則相對較多。

臺灣自 1960 年代初期正式有除草劑登記及推薦以來，除草劑的應用成為現行雜草管理體系的主要方式，人工、機械、田間耕犁及輪作等栽培制度之除草方式，則在特定作物田或生育期實施。現行雜草管理體系所高度依賴的除草劑，具有使用便捷、高效及經濟等特色及優點，但田間除草劑所用之劑量，多半是由農藥廠商針對少數難防治雜草而設定，較實際防治所需之量為高。自 1970 年以來之長期追蹤顯示，臺灣農田雜草密度與種類均持續降低中，很多田區之雜草數量已不足以對作物生產造成影響，但是相同之除草劑劑量，卻仍然在作物的每一生長季施用，環境因而承受過多而無意義之負荷。草相的調查為選擇有效防治方法之依據，在現行雜草管理上為亟需長期投入人力與經費之基礎研究。

雜草管理技術

雜草的管理主要是針對田面發生所有雜草的合理控制，田區中已長出之雜草種類及分布量即所謂的雜草相，雜草相的組成實為選擇防除技術及訂定管理策略的首要依據。草相的變化與田區土壤內雜草種子庫的型態及大小密切有關。

雜草的萌發生長通常與作物是同步的，對作物生育的影響為漸進而持續的。因為土壤種子庫內所含的雜草種子量本來就很高，雖然因為氣候、栽培作物的種類、整地耕犁的深度、土壤含水量及除草劑使用的種類與頻度，而改變田區內雜草發生的種類與數量，但通常在播種同時許多雜草種子也已開始萌芽，和作物共享田間所有自然及人為提供的資源，直到完成生活史達到種族衍續的目的。

針對雜草蔓延快速及競爭力強之優勢特性，其在農業生產體系中所帶來的衝擊，主要發生於作物尚未形成覆蓋前之生育抑制，及開花結實後的種子掉落，增加土壤中種子含量，提高防治成本。因此防治時期著重在作物生育的早期，甚至前作或休閒田的雜草管理，都會影響防治的成效。

雜草防除的目的為適時適地的合理使用各種方法，降低田區內雜草危害的程度。防除的方法，可概分為預防性、栽培管理、物理性、生物性及化學性五大類。一般田間在實際管理時，多採用結合數種方法之綜合防治，即將各種方法分別在

planiculmis) 在一個水稻生長季至少能產生 100 個地下塊莖[9]。營養莖的繁殖速率與田區整地及翻耕使用的機具型式有關，在使用盤狀犁翻耕土壤時，反而有助於雙穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 的匍匐莖均勻分散於田區中。

雜草面對農地栽培管理措施所造成的逆境，提出了「突破正面迎擊」及「以多取勝」的兩大戰術，即龐大的種子量、複雜的休眠特性與營養莖的快速生長繁殖速率，這也是「雜草管理」著重在「早期防治」的必要概念。

(二) 競爭相關的生理習性

雜草在幼苗階段即生長快速，許多禾本科草會形成茂盛的分蘗支，莎草科草會產生密集的塊莖及幼芽，闊葉草的莖枝則會迅速伸長及發出分支，通常幼株在短時間內即發展為成株。如一種大戟科雜草白苞猩猩草 (*Euphorbia heterophylla*) 在發芽後四週即產生種子，快速由營養生長進入繁殖階段。此外許多雜草如芒稷 (*E. colona*)、稗草、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、雙穗雀稗、毛穎雀稗 (*P. conjugatum*)、大黍 (*Panicum maximum*)、強生草 (*Sorghum halepense*)、白茅、香附子、刺莧 (*A. spinosus*) 及馬齒莧等均為常見之 C_4 型雜草，此類植物之最適生長溫度、飽和光照強度、水分利用效率及生長速率均較 C_3 型作物為高[10]。同時高光合作用效率下產生之光合產物，也可快速分配到幼嫩器官中供其生長發育。

雜草也具有快速蔓延的特性。種子可經由風、水及動物 (包括人類) 與農機具等攜帶，散佈至不同田區且落地生根。許多時候如野生稻與栽培稻種子的外形及大小相似，同時野生稻的成熟期與水稻收穫期接近，更容易造成雜草種子混雜其中作長距離的傳播。

一般雜草多具有適應環境變化的遺傳特質，基因型及外表型的可塑性均高。在田區中依據水分和溫度的適合範圍，改變其種子產生量及植株生長勢。如馬唐草 (*Digitaria sanguinalis*) 能在極端乾旱的狀況下延緩生長，直到適合的環境才回復正常生長。馬齒莧在乾旱環境下，會調整葉片生長方式以降低陽光的曝曬，減少因蒸散作用所引起之水分過度散失，提升植株對乾旱、淹水等逆境下生存之特化的生理機能[10]。某些植物具有特殊的競爭利器，如快速有效的吸收環境中之養分和水分，對貧乏環境則具有高度耐受性，甚至在逆境下會快速開花結子繁殖下一代，或對田區管理與防除方式發展出抵抗力等，都有助於雜草的蔓延與散布。發生在土壤中含氮量極高的刺莧與牛筋草 (*Eleusine indica*) 植株，可充分完全的吸收氮素且加速生長，顯示對可用營養源正向的反應能力[10]。此外因雜草遺傳背景之多樣性，對於長期重複使用之除草劑，亦較易發展出抗性族群，增加防治上的困難[11]。

田區中雜草管理的困難之處，在於雜草與作物均為植物，任何會傷害雜草的操作也都可能影響作物的生長。土壤中存在的雜草種子庫，成為其攻佔農業生態區位的有利條件，因此對雜草生育特性的確實了解，會有助於設計出正確而有效的雜草管理策略，即所謂的「知己知彼，百戰百勝」，以減少雜草在田區造成的問題。

雜草的發生與散佈

雜草種子形成後，藉著風吹、水流、夾雜在作物種子中，或以農機具、動物攜帶的方式擴散到不同田區。掉落在田面之雜草種子萌芽後，若能順利完成開花、結實之生活史，則會再度在田區中產生大量的種子，經年累月的留在土中形成所謂的土壤種子庫。種子庫內的雜草種子是否能夠發芽，則受到休眠等生理特性、氣候與土壤等環境因素，以及耕犁整地等栽培管理操作的影響。雜草種子一旦自田面萌發後，由不同種類與數量的植株，即構成特定作物的特定田區，在特定季節下之雜草相 (weed flora)。簡而言之，雜草相是由土壤種子庫與環境交互作用所產生的結果，但影響草相變遷的因子也會造成種子庫的組成及大小發生改變。

(一) 土壤中之雜草種子庫

土壤種子庫內之種子量及組成種類，會隨作物的生育期長短與生長環境、田區整地與耕犁方式及除草劑施用等栽培管理作業而改變。一般雜草種子分布的廣度與深度和土壤受干擾的程度密切相關。

水、旱田輪作區內因土壤水分含量的差異，影響旱生及濕生型雜草的萌發數量，如旱地雜草香附子在淹水環境中即無法正常生長。此外作物生育期的長短及雜草管理水準的不同，如蔬菜田及果園中之雜草植株，能否順利完成生活史產生種子，亦有很大的差別。耕犁次數、深度及器械的型式均會影響雜草種子的分布。休閒地若任由雜草滋生結實，土中之雜草種子會迅速增加，但加入耕犁操作，可促使種子發芽而能有效的減少種子量(19)。

耕犁深度會造成土壤中雜草種子的再分布，深耕會將雜草種子埋在土壤深層，接近土表之種子，發芽的機率較高。光照對某些雜草如野莧、早熟禾 (*Poa annua*) 等種子的發芽有促進效用，但對馬齒莧的影響則差異不明顯。此外耕犁機具的類別亦造成不同的影響，如旋轉犁僅將土壤予以切碎，並無翻轉土壤的作用，大部分的雜草種子仍集中於土壤最上層。

目前在除草劑頻繁使用的耕作系統中，對農地野草的分布已產生極大的壓力。許多對藥劑敏感之雜草密度普遍降低，甚至消失。用量較多之非選擇性除草劑，對農地植物造成之選汰壓力尤其顯著，導致忍受性高且繁殖力強之優勢植物得以存活[25]。土壤種子庫內之雜草種類趨於單純化，數量也有逐漸減少之趨勢，田面草相因而發生明顯改變。

(二) 田面發生之雜草相

雜草發生量，即雜草在田面的覆蓋率和累積的生物量，和田間栽培管理措施有關。影響雜草相分布之因子包括生育環境如作物種類、土壤水分含量、耕犁深度；氣候如溫度 (一、二期作；春、秋作) 及除草劑如藥劑類別 (作用機制、植物或土壤中之殘留期及殘留量)、施用頻度及施用量 (抗性草) 等。

耕犁系統對雜草種子發芽及族群動態的影響，尚需考量到耕作制度，特別是輪作及雜草管理的方式。輪作對雜草的影響，有時大於耕犁系統，如水、旱田草相會截然不同，甚至同為旱地的果園及蔬菜田，雜草發生之種類及數量也因為作物生育期的長短、株形大小及生長勢 (競爭力) 等因素而有差別。當然除草劑的使用，不管是抑制雜草生長或殺死雜草植株，選擇性藥劑會導致具耐性之優勢草種相對增加，非選擇性藥劑則會造成雜草密度的明顯減少，此外施用量的提高會降低除草劑選擇性的表現程度，另方面也可能提高抗性草發生之機率[11]。

整地與否對田面草相也有相當顯著的影響，如冬裡作田在水稻收割後，田面會陸續長出旱生型雜草，在不整地狀況下，這些雜草會繼續長大，但經過整地後，這些已萌芽的雜草會被翻除，同時翻出土壤深層的雜草種子至土表，於適當環境下開始萌芽生長。因此一般不整地田之雜草量較低，幾乎為整地者的一半，但不整地狀況下雜草生育快速，雜草生物量 (鮮重) 的增加速率較整地者為快。

一般而言，水田環境十分均一，雜草發生的種類不及旱田複雜，草相的變化亦不大。旱地作物田所發生的雜草種類主要受溫度和雨量的影響，水田狀況除溫度外，主要是淹水深度造成之氧氣供應量的差異，但除草劑的使用亦為草相改變的重要影響因子，因為經常使用同種類除草劑時，在藥劑的選汰壓力下造成敏感性雜草減少，耐受性雜草增多而成為優勢族群的草相變遷現象。如早期僅中南部地區發生較多之水田草尖瓣花，因為萌芽期較長，部分草子可躲過一般水田常用除草劑的藥效期，此種效應逐年累積下來，目前成為水田主要之難防治雜草之一。

高溫多雨之春、夏兩季為一年中雜草發生的高峰期，植株生育快速易形成群落。秋、冬季雜草發生相對減少，但水分充足時，仍會不斷萌發出新的植株。一般秋季多為株形高大之雜草，田面幾乎完全被覆蓋，尤其是以根、莖繁殖的多年

為什麼雜草總是除不盡

雜草和作物同樣都是植物，在生育過程中對環境的需求相近，往往在管理不善的田區中，總能夠快速的攻佔到一席之地，且與作物競爭生長所需的資源與空間，成為不受歡迎的植物，究其原因主要源於生長與繁殖的強勢及對環境適應力的優勢，包括雜草的生育特性及因應逆境的調適對策。

(一)田間栽培與管理措施之適應性

田區發生的雜草種類，與土壤中所蘊藏之種子類別及數量有密切關係。而田面草相的分布，則主要由作物的種類、溫度等氣候環境、整地次數與深度、水管理、除草劑施用等田間管理決定。

大多數雜草尤其是一年生植物，不論環境適宜與否，都可能產生大量的種子。如稗草的單株種子量為 7,000 粒，馬齒莧 (*Portulaca oleracea*) 為 50,000 粒，小葉灰藋 (*Chenopodium serotinum*) 70,000 粒，青莧 (*Amaranthus patulus*) 則接近 110,000 粒。根據 61 種雜草種子的調查結果顯示，單株平均數量高達 26,500 粒[(15)]。由雜草種子大量產生的普遍現象，不難理解田區雜草管理作業必須持續進行及掌控在植株開花結子前的原因。

種子的休眠性則為植物物種在不適環境下存活的一種機制，大部分的雜草都具有這種特性，直到適合的環境才開始萌芽生長。如稗草種子在土中可保持活性約 13 年、匍匐薊 (*Cirsium arvense*) 20 年、一種旋花科植物 *Convolvulus arvensis* 長達 50 年。但野莧 (*A. viridis*) 種子的壽命大多只有一年[(14)]。種子壽命短之雜草，若能有效阻斷其新種子產生的機會，則田面發生的植株數量會在短時間內明顯減少。雜草種子休眠性的表現也往往具有多態性 (polymorphism)，如某種鴨跖草 (*Commelina benghalensis*) 可產生四種不同型式的休眠種子，在田區內的不同季節或耕作期斷斷續續的表現出休眠特性，造成發芽的極端不整齊，甚至在作物生長的整個季節都可能陸續的萌發生長[(23)]，導致防治上的效率不易提高且費時費工的結果。

多數雜草能夠同時進行有性和無性繁殖，進入繁殖期所需之時間也較作物為短，因此管理不佳的田區，雜草植株可長期維持在高密度狀態。其他如對除草劑產生耐藥性，也會明顯增加特定田區雜草的存活潛力。

多年生草的繁殖方式往往不只一種，如香附子、白茅 (*Imperata cylindrica*)、馬齒莧及鴨跖草，除種子外，根莖和走莖也是重要的繁殖器官。塊莖、根莖及匍匐莖等營養繁殖器官的產生量亦頗為驚人，如單一株雲林莞草 (*Bolboschoenus*

適當生育時期適量使用，以符合經濟效益、生態平衡及環境保護的要求。以下分述各種防治方法[21,22]。

(一) 預防性防治

即限制有害雜草的種子與營養繁殖體在不同區域及田區間的流佈。許多國家訂定檢疫法規及相關的法則，強迫性的限制外來有害植物的入侵；如作物種子檢查、有害雜草的檢查。任何植物在生長期間，不只限於種子或繁殖體，會直接或間接危害作物的生育、牲禽的生育、影響灌溉、水域的利用、水生及野生動物的生育或公共衛生等，均有可能列入檢疫雜草名單，美國及澳洲對任何列入檢疫名單上之雜草均嚴格限制，歐洲各國則對寄生性雜草，尤其是列當科 (Orobanchaceae) 植物之檢疫特別重視。我國於 100 年 3 月 31 日公告修正「中華民國輸入植物或植物產品檢疫規定」，規範管制之雜草類計 146 種，寄生性植物類 (parasitic plants) 計 12 種。布袋蓮、豬草、小花蔓澤蘭、銀膠菊、幾內亞草等為臺灣目前嚴重危害之外來雜草。對同為熱帶或亞熱帶生長、繁殖力強、危害潛力高之植物，國人尤其應該保持高度警覺，不可輕意帶入任其生長繁衍。

近年來由於交通的便捷與農作管理粗放等因素，雜草在不同農地間的散布亦極為快速，如水稻田發生之雲林莞草 (水蒜仔) 在農機具等攜帶下，短短數年間已由臺灣西部沿海地區蔓延至東部田區，造成管理上的極大困擾。因此作物種子與農機具的清潔，減少肥料與覆蓋物等草子的夾雜及苗圃與灌溉水的散布，均為預防農地間難防治雜草散布的重要措施。

(二) 栽培管理

選用萌芽整齊、生長快速具競爭力之作物品種，並採行移植、密植、及窄行距的栽培方式，均可降低雜草的競爭危害，但需考量是否可能成為後作之問題雜草。蔬菜田以撒播密植或移植等方式，可降低雜草對作物造成的競爭力。水田灌水後的翻犁，使雜草種子提早萌芽，插秧前再完全整地，可有效防除雜草。果園內選留某些自生性雜草或以人工種植非原生草類、綠肥作物，使土表保持草生狀態的草生栽培管理方式均可有效管理園區之雜草。

長期連作會導致類似之雜草量倍增，輪作可降低特定雜草已建立之高族群密度，對有特定環境需求之雜草，如旱田中危害嚴重之香附子，實施水田輪作即為有效之防治方法，長時間浸水可大幅降低雜草密度。選擇輪作之作物種類，除考慮不同的栽培方式外如水、旱田外，生育期長短的差異如一年生與多年生作物，也可減少田面雜草的發生量。

(三) 物理性防治

1. 人工除草

使用雙手、鋤頭、或小型工具等之除草方式，僅限於去除幼小雜草；對已長成之雜草，特別是具有地下莖之多年生草則效果有限。但在除草劑未普及之年代，是主要的除草方法。人工除草可用在各種空間，且技術要求不高，不需事前訓練，是相當方便而難以被完全取代之方法。雖然效率低，但是人工除草仍然用於小庭園、菜圃、對除草劑敏感之作物田，或雜草密度低之田區行重點式除草。

2. 機械除草

剪草機主要用以切斷地上部過高之雜草植株，通常不會將雜草殺死，尤其是具匍匐性或莖基部可產生芽體及分櫱之植物，剪後短時間內會迅速再生。

貼地式剪草機適合如公園、球場草坪等平坦開闊之場地使用；剪後地面平整美觀，但因重量及體積大，在雜草過高或土壤濕軟狀況下均難發揮作用。背負式動力剪草機，使用輕便，不受地形、土壤狀況、雜草大小之限制；廣用於清除果園、邊坡、田埂等場所之雜草，由於雜草剪除後，土表仍有相當之地面覆被，水土不易流失，很適於果園及邊坡之雜草管理。

3. 水管理

植物對水分逆境 (過多或不足) 忍受程度之差異，可利用來防治特定對象之雜草。低窪地可由改善排水，降低水生雜草密度。間歇式排水或斷水，可使溝渠中不耐乾旱之水生雜草枯死，也利於人力、機械等防治方法之實施。多年生草之營養繁殖體多不耐乾燥；休耕期之土壤翻鬆，可使營養體脫水而死，降低後作田區中多年生草之密度。深水灌溉可抑制多數一年生雜草之發生，如美國加州之水稻栽培，曾普遍採用 10 公分以上之淹水，主要目的即為防治田中之稗草。在臺灣很多漏水及輪作水田，芒稷 (紅腳稗) 及一些偏旱生型之雜草相當嚴重，這類雜草均不耐淹水；如能在移植後數周內，保持田區內連續淹水，則可免除或減少其危害。

4. 覆蓋

田面覆蓋植體殘株、農林產品加工廢棄物、合成布膜等，因為遮光、土溫升高、殘株釋出剋他化合物、形成物理性障礙等作用防治雜草。移植作物在種後應立即覆蓋，覆蓋前則須將已萌芽植株拔除。若使用有機資材須注意草子污染或分泌剋它物者。覆蓋後則減少耕犁防草效果較佳。

在臺灣稻稈是最常被利用之植物性覆蓋材料，經常可見於水田後作之蔬菜瓜果栽培。以往經驗顯示，每公頃覆蓋 5-10 公噸之鮮稻稈，可以達到良好之雜草防治

效果，如使用量不足，很多雜草穿過殘稈長出，覆蓋材料反而構成其他雜草防治操作之障礙。強度高之不織布及塑膠布，可以阻礙大多數雜草發生，其中以黑色不透光者之防草效果最佳，常用於草莓及瓜果等高價作物之栽培。大田區使用合成之覆蓋材料，但使用後之廢料處理及燒毀所造成的污染，也需列入謹慎考量的範圍內。水田雜草防治，也有利用水面覆蓋浮水植物滿江紅及稻殼，但目前仍不具實用價值。

5. 火燒及熱處理

原始之農耕普遍利用火燒，來清除地面上之雜草及林木。現在有些國家在人造林之管理上，定期以火燒來除掉接近地面之雜木，除可減少這些植物對樹木之競爭外，也可避免在林下累集過多之易燃物造成森林火災。火燒可殺死地面已發生之雜草，但對土中之種子及未萌芽之雜草無效果。除了使用特殊設計可定向噴火之器具外，不適合在已種植作物之田間使用。臺灣常見之田間燃燒稻稈，可防止殘樁再生，及殺死陸續長出之幼草，但有造成污染之負面結果。

栽培介質中所含之雜草繁殖體，可用高溫蒸熱處理殺除，此種處理之效果完全，但成本高且需有產生蒸氣之特殊設備，較適於高經濟作物之設施栽培使用。透明塑膠布所覆被之土壤或介質，在強光下會升溫至雜草死亡之程度，因受成本高、時間及空間之特別需求、及防治效果不完全等因素影響，這種利用日光熱能除草之方法還不普遍。

6. 整地及中耕培土

間苗、中耕及培土等措施，多多少少都會除去部分的雜草植株，尤其在雜草幼苗期即行耕除，會明顯降低雜草對作物生育造成的危害程度。

以畜力或機械動力帶動之各式犁具 (單背犁、圓盤犁、迴轉犁、齒耙)，將田面雜草翻埋入土或鬆動，可達到除草之目的。播種前整地可將田面雜草埋入土中，使萌芽之作物免受較大雜草之競爭。整地使用之犁具種類會造成雜草發生之差異；翻埋型犁具可將多年生草之地面走莖深埋土中，減少其發生。碎土型犁具則將走莖打斷，有可能導致更多雜草發生。

中耕可鬆動表土將草根切斷，使幼小雜草枯死。田間預留足夠之行株距提供中耕機之操作，為此作業之先決條件。由於會傷及作物，在作物植株附近之雜草，仍有賴其他方法來防除。在雨季或土壤過濕狀況下，不適中耕作業且除草效果不理想。

(四) 生物性防治

分為傳統生物防治及生物藥劑兩大類。傳統之雜草生物防治涉及外地生物之引進；審慎評估取食對象或寄主範圍後，將選出之生物釋放，任其自然傳播繁衍。適用於外來雜草之防治，所用生物選自雜草原產地之天敵，通常以昆蟲為主，亦包括線蟲、菌類及較高等之動物。國外針對仙人掌、布袋蓮、豬草之防治，均有成功實例，南美洲選出之象鼻蟲，已廣用於熱帶及亞熱帶防治原產於該地區之布袋蓮，而在美國、澳洲、非洲以及東南亞均有相當不錯之效果。澳洲在 1920 年代曾經利用引自南美阿根廷之螟蛾，相當有效的壓制危害超過 2,000 萬公頃之仙人掌[10]。臺灣重要雜草中，布袋蓮、長梗滿天星及馬櫻丹，在國外均有成功之生物防治案例。

雜草之生物藥劑防治在 1970 年代以後，才首先在美國開始研究發展。目前較成功者均多利用真菌發展之藥劑，通稱為真菌除草劑 (mycoherbicide)。商品化者包括柑桔園及稻田草之防治。中國大陸也有一種由炭疽病菌製成防治菟絲子之藥劑[26]。臺灣在此領域之研發尚在起步階段，目前以炭疽病菌防治菟絲子之生物製劑開發已顯現完全防治的效果。

生物藥劑防治法所用之生物，不限其來源地區，找到適當生物後，利用人工大量繁殖，並製成適於儲藏、運輸及施用之劑型，在有防治需求時才予以施用。雜草被防除後，菌類之密度因失去寄主而降低，下一栽培季需要再度施藥，才能防治田中發生之雜草，此為建立生物防治技術須納入考量的重要部分。

(五) 化學性防治

採行化學除草是臺灣近代農業生產上之重要特色，除草劑的使用，大幅降低作物栽培過程中對人力之倚靠及生產的成本。但有些除草劑的使用已超過實際防治之需求，以致危及環境及影響其他生物的生存。目前臺灣地區大多數的作物田，均以化學除草劑為雜草防治的主要手段，人工與機械除草、其它田間管理作業、及輪作等栽培制度，則在特定作物田或生育期實施。

雖然臺灣地區作物田已普遍使用藥劑除草，但部份仍以人工或機械除草、田間管理作業及栽培制度等防治為輔。實際上雜草的發生與作物栽培管理方式有密切關係，因此在防除上尚須考量田區的栽種歷史，以選擇適當的管理方式及時間，尤其是發生在生育初期之雜草，生長競爭導致作物品質及產量的損害會特別嚴重。

除草劑合理使用之雜草管理策略

臺灣農田內發生的雜草種類極為多樣，但對農作物生長造成主要危害的卻是少數強勢種類所引起。依據『臺灣耕地雜草』資料顯示，全部 330 種雜草生物量中 80%來自 40 種雜草，其餘約 290 種僅佔總草重之 20%[12]。因此雜草管理實際是針對田區之強勢草種。因為它們在生長、繁殖及散佈等生物特性的表現上具有廣泛的適應性，相對於其他植物造成壓倒性的生育抑制，以成就其自身族群之擴散。如入侵植物-豬草對養分及水分的吸收及再生能力均表現出高度競爭力，在玉米田發生之密度達 30-50 plants/m^2 時，即造成玉米減產 30-40%，若增加到 50-100 plants/m^2，則玉米幾乎完全無收。但在大豆田中，密度高達 116 plants/m^2 時，大豆只減產 12%[6]。顯示不同作物田的強勢草種視兩者當時的競爭關係而定。由競爭關係可以確定雜草族群之競爭臨界期 (critical period of competition)，即作物生育對雜草競爭的敏感時期。作物生長初期，雜草競爭力弱，隨著雜草植株長大競爭力逐漸增強，當雜草存留對作物造成減產的損失量，和去除雜草干擾狀態下作物產量的增加量相等時的天數，即為雜草與作物競爭的臨界期[2]。競爭臨界期可作為研判防除雜草最佳時期的依據，一般多在作物萌芽後一個月之生長期間，約占作物全生育期的 1/4 [5]。

雜草危害經濟閾值則是指作物增加之效益與防除費用相等時的草害狀況[16,17]。Li *et al.* (2016) 針對小麥田內發生之 *Japanese brome* 對小麥穗數和產量影響，造成顯著降低之最低雜草密度為 5 plants/m^2 [20]。只有當作物因雜草而減產的損失率高於雜草防治成本和雜草所提供的生態利益的總和時，除草才顯得必要[1]。亦即防治的費用小於或等於因防治而獲得的效益時，防治才有良好的經濟效益。經濟閾值因環境因素、密度、種類、群落結構等不同[5,18]。競爭臨界期的不同導致了經濟閾值的差異，由此可區分主要與次要雜草，以確立不同雜草的最佳防治時間。田間存在之雜草視其密度高低，造成作物產量的損失在 0-100%間，當密度很小時，單株雜草對作物的危害潛力提升，當密度大到某個程度時，則會出現種內競爭現象，因而降低其對作物的危害力[3,4]。

合理的雜草管理系統是根據雜草族群的動態變化和相關的環境狀態，選用適當的技術和整合防治的技術，要將所有的雜草完全清除是不可能的，除了不符合經濟效益外，也會破壞農業生態的平衡，因此必須要確實了解雜草危害界限的意義。舉例來說，雖然發生在果園的雜草，會造成肥料損耗及妨礙管理工作等危害，但果園內生長之草生覆蓋植物即具有增加土壤抗侵蝕能力、涵養水分、改善土質，甚至改變病原與昆蟲對果樹之危害。同樣是蔬菜田，卻因生長情形及生育期長短

的不同，採用之雜草管理方式亦有差別。如豆科蔬菜與雜草的競爭力強，栽培初期除草即可；蔥科及繖形科蔬菜與雜草競爭力弱，且植株不易形成覆蓋，雜草管理須持續至生育中後期。

配合耕作制度的水、旱田輪作，或以稻殼、塑膠布覆蓋田面抑制雜草萌芽，均可降低田面雜草的發生及土壤中之種子量。田區四周及灌溉溝渠的清潔維護，可減少有害種子及營養繁殖體的傳入。對於危害潛力高而防治困難的多年生雜草，在發現初期即應予以有效防治，可減緩其蔓延速率。實際上管理良好之田區，土壤中雜草種子量會逐年減少，雜草危害程度亦隨之降低，防治作業趨於單純而可掌控，較之完全仰賴藥劑的施用，來得安全且無抗性草發生及土壤肥力消退的後顧之憂。

從雜草的發生與競爭特性上可以理解，在不能完全倚賴藥劑的前提下，任何單一的防治方法，要超越雜草的繁殖力實在不易。唯有將單獨使用效果不明顯的方法，設計組合成具有可接受水準的整合防治策略，降低害物產生適應性及抗性的機率，維護其有效性的持續年限。實施綜合性雜草防治工作前，必須先針對有關的各種問題做一詳盡的分析，建構一個包含作物、雜草、土壤、昆蟲和微生物等相互作用的網絡系統，擬定規劃、預防及控制等相關實施方案作為執行的依據。

(一) 規劃步驟

1. 田區雜草的辨識

正確辨識田區內發生之雜草種類為防治步驟進行的最重要依據。根據『臺灣耕地雜草』之調查紀錄，在全部 330 種雜草之總生物量中，有 80%來自 40 種主要雜草，其餘 290 種僅佔總草重之 20%。因此首先要針對農田內雜草相之季節性變化作持續的監測與紀錄，進一步了解主要雜草的生長習性，發育和開花等繁殖模式，種子的擴散、休眠和萌發特性，以及對作物產量造成的影響。由此設計適當的管理策略，包括防治的時期與採行的方式，並對任何預防和防治措施的效果進行評估，以逐年提升農地雜草管理系統的成效。

2. 栽培制度的設計

設計的主要目標為杜絕雜草侵佔田區內之生態區位，即減少其種子或營養繁殖器官萌發的機會，即所謂生態管理的方式[13,24]。首先須規劃多樣性的作物輪作系統，降低雜草對環境的適應性。同時配合不同作物的耕犁時間、深度、頻度和方式，以及種植和收穫的時間及方法，避免造成農地休閒或休耕的時間過長，此外以密植、間作、或種植覆蓋作物的方式，減少在作物行、株間之開放裸露的空間。

如水-旱田輪作或不同栽培方式如撒播-移植蔬菜交替，在造成主要雜草最大傷害之時期，安排整地和翻耕等操作，阻斷雜草生活史的完成。

3. 防治方法的選擇

選擇符合成本效益的耕作器械和方式，如種植前的雜草清除或水管理等措施，或配合除草劑作用機制與防治範圍(25)，精準施用適合之藥劑，將雜草對作物生長造成的壓力降至最低。

(二) 預防措施

1. 提升作物生長的競爭優勢

促進作物健康及快速的生長，達到對雜草完全競爭的優勢，為減輕雜草問題的最佳方式。選擇適合栽培的地方品種，如生長旺盛易形成覆蓋以遮蔽雜草的生長，並針對作物特性提供最佳的生長條件，如栽植日期、行株距的設定、水分供應、土壤通氣性與肥沃度，以及病、蟲害管理等，掌握適當的田間作業程序，確保作物對資源的吸收利用，而非促進雜草生長的不利結果。一般氮、磷、鉀等植物生長所需之營養成分在缺乏或過量情況下，會誘導某些雜草表現對逆境之適應力，造成具有超越作物生長的競爭優勢。

2. 種植覆蓋作物抑制雜草生長

種植覆蓋作物的目的為快速佔領田區中開放裸露的空間，一方面壓制雜草幼株的生長，另方面保護和恢復土壤活性，將土壤養分持續保留及再循環利用，增加有機質含量。某些覆蓋作物可能釋放植物生長抑制物質 (剋他物質) 進入土壤中，以間接抑制雜草的萌發，但此剋他物質是否也會影響作物的生長，則須審慎考量。

3. 雜草種子庫的管理

防止具活性的雜草種子形成和釋放至農地中，尤其是多年生雜草的根莖等營養繁殖器官，更應加強管理限制其增殖與擴散的速率。除確實在發生初期予以徹底清除外，也可利用地下昆蟲或其他生物，消耗已存在土壤中之雜草種子量。此外避免由肥料、覆蓋物等資材引入新的雜草，以及休閒或休耕農地的雜草管理工作亦應持續進行不可忽略。

(三) 控制步驟

1. 掌握防治的關鍵期

苗床及栽植前田區之雜草幼株的早期防除，同時在作物生長的關鍵時期，須保持田面的清潔免受雜草影響，如大部分的蔬菜在其全生育期的前三分之一或一

半，雜草發生量過高時會顯著降低作物的品質與產量。此外針對發芽較晚或發芽期過長之雜草種子，可思考殘效較長之適當藥劑予以點狀施用之防治補救措施，特別是多年生雜草的出現，更要及早適時的抑制及移除其地上部，以確實中斷其營養繁殖，以免除後續的除草的壓力。，雜草管理計劃的執行

2. 利用生物防治減少雜草危害

田間輪流施放家畜、家禽等，可去除田區內雜草及干擾種子的產生及掉落，但應掌控適當放牧時間，避免農產品接觸到新鮮糞便造成污染。利用覆蓋、敷蓋或樹籬等，維持土壤的生物活性及提供天敵之棲息地，促使雜草種子的捕食和腐爛，縮短種子庫內雜草的壽命。

3. 競爭弱勢作物之雜草防治

在主要雜草為多年生雜草的作物田內進行雜草防除是相當困難的。利用重複整地及密植覆蓋作物，會抑制已萌發雜草的生長。在實施種植覆蓋作物之不整地操作前，則須先有良好的雜草控制與管理規劃。但選擇雜草控制佳或雜草壓力低之田區，種植對雜草敏感之一年生作物實為一勞永逸之上策。

雜草管理系統應保持對田區雜草的持續監測和管理操作方式的評估。注意並記錄雜草的組成、萌發和生長方式、及雜草壓力的任何變化，並據此提出需要修正的部分與做法。例如，農田內一年生雜草的增加，可能表示需要減少耕犁，或增加輪作作物種類的多樣化。入侵的多年生植物增加，可能需要深耕或更積極地進行長期翻耕。尤其是新種雜草的出現，更應檢討可能造成的問題與思考防除對策。此外嘗試發展新的防治技術，如舊式機具的新用途，或預防和控制策略的新組合方式，以應付農地中主要雜草的挑戰。首先確定田區最棘手的雜草，再比較不同組合，或輪作、覆蓋作物及各種農具等，與未處理區的控制有效性差異，從雜草監控的訊息，作為下一季管理方式修正的依據。

結論與展望

田區雜草為一複雜而動態的族群，不但彼此相互作用，同時也會與作物、昆蟲及病原菌發生交互影響，往往防治的實施與成效也受到環境影響。近年來，由於農地政策與農作栽培制度的大幅轉變，造成田區雜草的種類與數量發生明顯的變化，以及農業藥物的頻繁使用，改變了原有的農業生態環境，造成山林棲地破

壞的隱憂。臺灣農業生產採用之雜草管理體系對除草劑有高度之依賴，傳統之栽培慣常以除盡田園中雜草為目標，這種觀念支配著實際田間防治方法及藥劑之使用，除成本及效果外，生產者較少考量到雜草防治外之其他層面問題。其實任何雜草防除的措施，均會降低不同程度的危害，若針對特定種類雜草的完全根除，不僅困難度高且所需成本驚人。雜草合理化管理策略，應著重在以監測及危害界限作為防治實施之依據，推動雜草非根除的觀念，進行以農地永續利用為目標之雜草管理，協調生產效益與環境保護原則，尤其在除草劑長期使用、耕作方式大幅改變，高危害性外來植物入侵之衝擊下，必須深入探討雜草在農業生態系中的角色變化，及除草劑以外之其他替代或輔助技術發展之可行性，尤其是降低雜草種子入侵與散布的預防性措施，在綜合運用各種防除技術下，推動除草劑減量使用落實永續經營的最終目標。

引用文獻

1. 李永豐、婁群峰、李宜慰。2001。江蘇省小麥田間雜草的生態經濟防治閾期。 江蘇農業學報 17: 219-222。
2. 李儒海、褚世海、魏守輝、黃紅娟、張朝賢。2015。麥田惡性雜草豬殃殃與冬小麥的競爭臨界期。第十二屆全國雜草科學大會論文集 p. 9-10。
3. 杜峰、梁宗鎖、胡莉娟。2004。植物競爭研究綜述。生態學雜誌 23: 157-163。
4. 金開正。2006。雜草對作物產量損失預測的複合函數模型。農業網路資訊 5 : 50-51。
5. 胡冀甯、孫備、李建東、王國驕、燕雪飛。2007。植物競爭及在雜草科學中的應用。作物雜誌 2: 12-15。
6. 張葵。2006。惡性雜草—豚草。生物學通報 41: 25-26。
7. 蔣永正，蔣慕琰。2005。有機栽培之雜草管理。有機農業生產技術研討會專輯。行政院農業委員會花蓮區農業改良場出版。327-340 頁。
8. 蔣永正，蔣慕琰。2006。農田雜草與除草劑要覽。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所出版。260 頁。
9. 蔣永正、方浩宇。2015。臺灣水田雜草雲林莞草 (*Bolboschoenus planiculmis*) 之化學防治。中華民國雜草會刊 36：63-76。
10. 蔣永正、蔣慕琰、張騰維。2010。臺灣有機農業技術要覽－雜草管理 (綜論)。臺灣有機農業技術要覽。豐年社編印。50 頁。
11. 蔣永正。2018。臺灣農田抗性雜草之監測與管理。2018 植物防疫檢疫科技研發成果發表會論文集。動植物防疫檢疫局出版。128-135 頁。
12. 蔣慕琰。2005。臺灣農地雜草與生物多樣性維護。臺灣植物資源之多樣性發展研討會專刊。行政院農業委員會花蓮區農業改良場編印。150-168 頁。

13. Bastiaans, L., Paolini, R., and Baumann, D. T. 2008. Focus on ecological weed management: what is hindering adoption? Weed Research 48: 481-491.
14. Colquhoun, J. 2003. How long do weed seeds survive in the soil? OSU Extension Service.
15. Fennimore, S. A. 2017. Weed Seed Biology, Seedbanks and Management. Weed Science School. University of California, Davis. 18p.
16. Galon, L., Basso, F. J. M., Chechi, L., Pilla, T. P., Santin, C. O., Bagnara, M. A. M. Franceschetti, M. B., Castoldi, C. T., Perin, G. F., and Forte, C. T. 2019. Weed interference period and economic threshold level of ryegrass in wheat. Bragantia, Campinas, 78: 409-422.
17. Griffin, T. W. 2015. Is Zero Tolerance an Optimal Weed Management Strategy? The Economic Threshold Revisited. the Southern Agricultural Economics Association's Annual Meeting, Atlanta, Georgia.
18. Keller, M., Gutjahr, C., Mohring, J., Weis, M., Sokefeld, M., and Gerhards, R. 2014. Estimating economic thresholds for site-specific weed control using manual weed counts and sensor technology: An example based on three winter wheat trials. Pest Manag Sci 70: 200-211.
19. Kumari, S., Pradhan, S. S., and Chauhan, J. 2018. Dynamics of weed seed bank and its management for sustainable crop production. International Journal of Chemical Studies 63: 643-647.
20. Li, Q., Du, L., Yuan, G., Guo, W., Li, W., and Wang, J. 2016. Density effect and economic threshold of Japanese brome (Bromus japonicas Houtt.) in wheat. Chilean Journal of Agricultural Research 76: 441-447.
21. Liebman, M., Mohler, C. L., and Staver, C. P. 2001. Ecological management of agricultural weeds. http://www.cambridge.org
22. O'Donovan, J. T., Blackshaw, R. E., Harker, K. N. 2007. Integrated approaches to managing weeds in spring-sown crops in western Canada. Crop Protection 26: 390-398.
23. Qasem, J. R. 2019. Weed Seed Dormancy: The Ecophysiology and Survival Strategies, Seed Dormancy and Germination, Jose Carlos Jimenez-Lopez, IntechOpen. https://www.intechopen.com/books/seed-dormancy-and-germination/weed-seed-dormancy-the-ecophysiology-and-survival-strategies.
24. Schonbeck, M. 2010. Twelve steps toward ecological weed management in organic vegetables. http://www.extension.org/article/18539
25. Shaon, K. D., Tilak, M. 2014. Mode of action of herbicides and recent trends in development: A Reappraisal. Int. J. Agric. Soil Sci. 2: 28-32.
26. Singh, A. K., Pandey, A. K. 2019. Mycoherbicide Research for Controlling Weeds: Status, Opportunities and Future Needs. International Journal of Science and Research (IJSR). 8: 1645-1660.

ABSTRACT

Weed Management Strategies to Reduce Herbicide Use in Field Crops

Chiang, Y. J.[1]

[1.] Pesticide Application Division, Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.

Herbicide use on field crops is by far the most common pesticide use in Taiwan; however, due to indiscriminate and excessive use of these chemicals, the adverse impacts on human health and the environment have arisen. Therefore, there is a need to develop economically and environmentally sustainable weed management technological methods. A weed management program will integrate the different available agricultural practices from preventative, cultural, biological, mechanical, and chemical methods as a means of reducing weeds whilst using less herbicides. The first step in a successful weed management is frequent and proper scouting. Understanding which weedy plants are most harmful and which pose no problem for the crop plants is essential, along with regular field monitoring and knowing for selecting the correct method of weed control. The second guide for timing of weed control is based on the critical weed-free period. Timely weeding is to minimize the adverse impacts of weeds on crops, and to reduce herbicides use.

Key words: Weed, Competition, Herbicide, Integrated weed management.